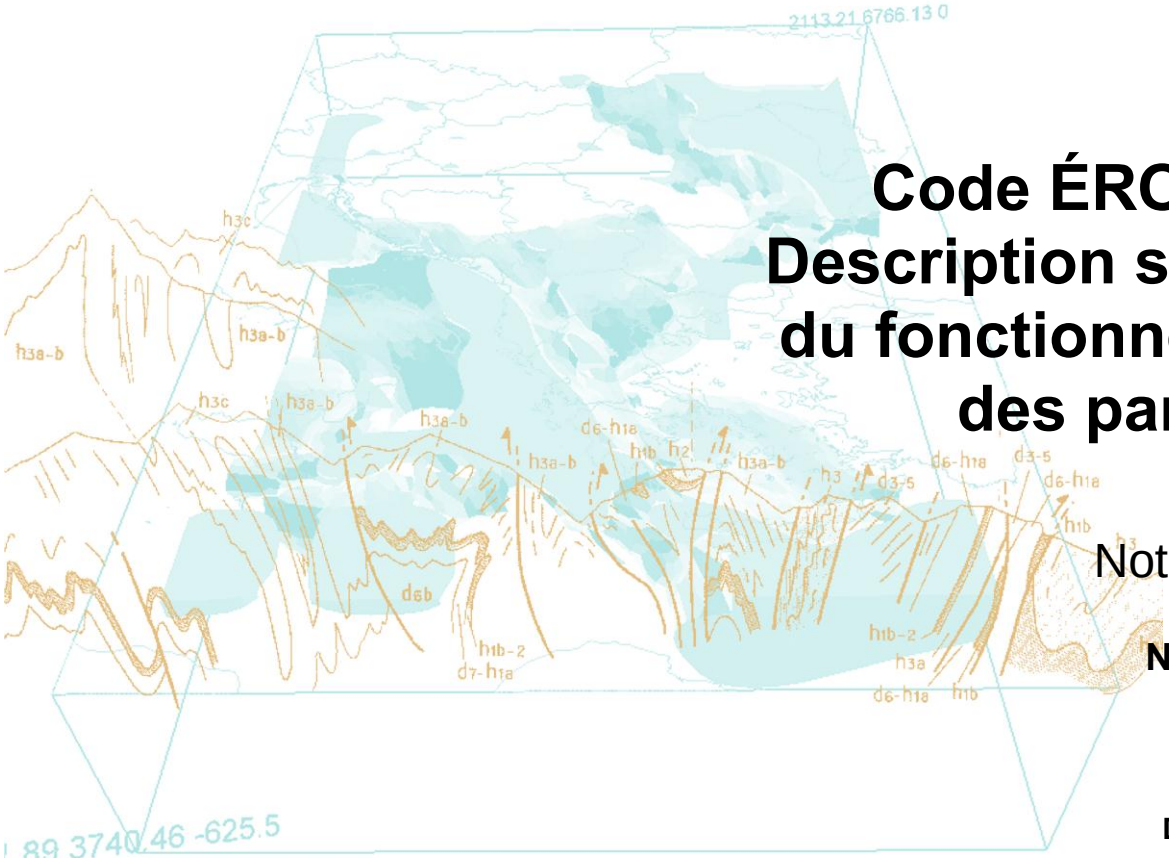
Document public



Code ÉROS v.4.0 : Description succincte du fonctionnement et des paramètres

Note technique

NT EAU 2005/04
Octobre 2005

Dominique THIÉRY

Avec la collaboration de Michel NORMAND

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Synthèse

Le code de calcul ÉROS (**E**nsemble de **R**ivières **O**rganisées en **Sous bassin**s) permet la modélisation des débits de bassins versants hétérogènes par une grappe de modèles hydrologiques globaux emboîtés modélisant chacun un sous bassin versant.
Le code de calcul qui fonctionne au pas de temps journalier, pentadaire (5 jours), décadaire ou mensuel met en œuvre dans chaque sous bassin un schéma hydrologique GARDÉNIA (Roche et Thiéry 1984, Thiéry 1988, 2003, 2004c) ou GR4 (Edijatno et Michel 1989) qui réalise une séparation non linéaire entre ruissellement et infiltration.
Chaque sous bassin a ses paramètres propres et éventuellement ses propres séries climatiques (précipitations, ETP). Il est ainsi possible de simuler des bassins hétérogènes (différentes occupations du sol, différents taux de ruissellement et donc de recharge des aquifères) et/ou soumis à des conditions climatiques différenciées (précipitations et évapotranspiration). Il est possible de prendre en compte des exportations (prélèvements) ou importations (injections) de débits modulées dans le temps, en rivière ou en nappe dans chaque sous bassin.
Il est également possible de calculer automatiquement, par régression bornée ("Ridge Regression") la superficie optimale de chaque sous bassin c'est à dire en particulier le coefficient optimal pour chaque poste pluviométrique.

Une fois calé, le code ÉROS peut être utilisé en simulation pour :
- l'extension de données
- la simulation de scénarios
- l'émission de prévisions incluant un coefficient de réajustement lui permettant d'émettre des prévisions plus fiables.

Cette note présente de manière succincte le schéma de fonctionnement et les paramètres du code de calcul ÉROS 4.0 d'octobre 2005.

Ce travail a été réalisé sur crédits de la Direction de la Recherche du BRGM : projet de recherche CRUES.

1 Schéma de fonctionnement du modèle ÉROS

Le code de calcul ÉROS (Ensemble de Rivières Organisées en Sous bassins) est un modèle hydrologique global pluie - débit spatialisé dédié à la simulation de grands bassins. Il permet la modélisation des débits de bassins versants hétérogènes (différences de pluviométrie et d'ETP, d'occupation du sol, de taux de ruissellement et donc d'infiltration, de débits d'échanges, etc.) par une grappe de modèles hydrologiques globaux emboîtés modélisant chacun un sous bassin versant.

La zone d'étude est décomposée en un certain nombre de sous bassins composant une grappe et reliés entre eux par une relation d'arborescence. On affecte à chaque sous bassin un numéro d'ordre et on définit pour chacun les bassins amont qui sont au nombre de 0 (sous bassin sans affluent), 1 (sous bassin en série) ou 2 (2 sous bassins affluents). ÉROS ne peut pas simuler plusieurs grappes à la fois. Il doit donc y avoir un exutoire unique.

La figure 1 présente un exemple synthétique de bassin formé de 9 sous bassins (numérotés de 1 à 9). La partie gauche est un plan du bassin versant et la partie droite montre l'arborescence correspondante. On dispose de 5 points d'observations : à l'exutoire des sous bassins n° 1, 2, 3, 6 et 9. On remarque que 3 bassins fictifs supplémentaires ont été introduits : en aval du sous bassin 7 et en aval du sous bassin 8. Ces sous bassins fictifs (de superficie égale à zéro, appelés "points de jonction") ont été introduits pour respecter la règle selon laquelle un sous bassin ne peut avoir que 2 sous bassins directement en amont.

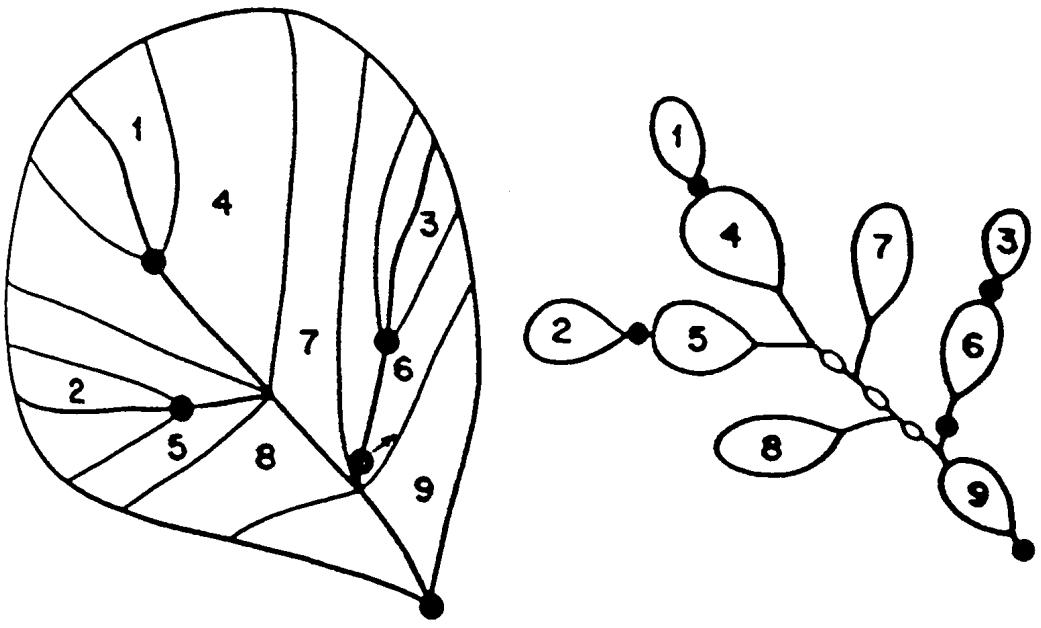


Figure 1 - Exemple d'application d'un bassin complexe décomposé en 9 sous bassins

Chaque sous bassin est schématisé par un modèle hydrologique global avec ses paramètres propres. Le débit calculé à l'exutoire des sous bassins amont arrive directement dans le sous bassin aval et chaque exutoire peut être :

- un point d'observation : on y dispose d'une chronique de débits d'observation.
- Un point d'édition : on ne connaît pas le débit mais on veut le déterminer.
- Un point intermédiaire.

Dans ÉROS V.4.0., le transfert des débits entre les sous bassins se fait instantanément avec un temps de transfert nul.

Pour représenter le fonctionnement hydrologique global de chaque sous bassin, on dispose dans le code ÉROS de deux possibilités :

- le schéma GARDÉNIA (Thiéry 1988, 2003, 2004c) ;
- et le schéma GR4 du CEMAGREF (Edijatno et Michel, 1989).

Le code de calcul qui fonctionne au pas de temps journalier, pentadaire (5 jours), décadaire ou mensuel met en œuvre dans chaque sous bassin un schéma hydrologique GARDÉNIA (Roche et Thiéry 1984, Thiéry 1988, 2003 et 2004) ou GR4 du CEMAGREF (Edijatno et Michel 1989) qui réalise une séparation non linéaire entre ruissellement et infiltration. Les transferts d'eau d'un réservoir à l'autre sont régis par des lois simples, qui sont particulières à chaque réservoir ; ces lois sont contrôlées par les paramètres des modèles (réserve utile, temps de transferts, seuils de débordement, coefficient de ruissellement, etc.).

Ces paramètres ne peuvent pas être déduits a priori des caractéristiques physiographiques ponctuelles du bassin versant (géologie, hydrogéologie, couvert végétal, etc.) mais doivent être évalués par ajustement (calage) sur une série d'observations. Le calage (ou calibration) consiste à ajuster les paramètres du modèle de telle sorte qu'ils permettent de calculer des débits aussi proches que possible des débits observés. Le calage est effectué automatiquement par une procédure d'optimisation non linéaire dérivée de la méthode de Rosenbrock qui maximise la somme des coefficients de détermination entre les débits calculés et observés en chaque point d'observation.

Chaque bassin élémentaire peut avoir des paramètres et des séries climatiques (pluie et évapotranspiration) qui lui sont propres et il est possible d'attribuer à chacun des prélèvements ou des apports existants ou prévus en rivière ou en nappe. Ainsi ce modèle permet de prendre en compte l'hétérogénéité du bassin versant en terme climatique (Pluie et ETP), de fonctionnement hydraulique (répartition entre le ruissellement superficiel et l'infiltration vers les aquifères, contribution des aquifères aux débits des rivières) et de débits d'échange (débits de fuite souterrain et/ou de prélèvements ou apports naturels ou anthropiques).

Le code ÉROS permet de prendre en compte l'impact d'aménagements tels que des barrages, des retenues, des dérivations, etc.

Il est également possible de calculer automatiquement, par régression bornée ("Ridge Regression") la superficie optimale de chaque sous bassin c'est à dire en particulier le coefficient optimal pour chaque poste pluviométrique.

Ce modèle est à mi-chemin entre un modèle global et un modèle maillé qui autorise la modélisation d'un système complexe par exemple à l'échelle régionale. Le code de calcul EROS permet d'une part de modéliser des bassins versants hétérogènes et d'autre part de prévoir l'influence d'aménagements hydrauliques (barrages, dérivations, prélèvements, etc.). Une fois calé, le modèle ÉROS peut être utilisé en simulation :

- pour une extension de données ;
- pour une simulation de scénarios ;
- et, comme pour la version 6.5 de GARDÉNIA, pour l'émission de prévisions. Il est ainsi possible de prolonger une série de débits observés jusqu'à une certaine date à partir de scénarios de précipitations prévisionnels pour les semaines ou mois futurs notamment en étiage. Cependant, ÉROS V.4.0 ayant une structure plus complexe met en oeuvre un schéma de prévision moins élaboré que celui de GARDÉNIA.

Comme pour le modèle global GARDÉNIA, le calage est automatique. Le nombre de paramètres par bassin élémentaire est relativement faible ce qui lui confère une certaine simplicité et robustesse. Il offre la possibilité d'égaler des paramètres de deux (voire plus) bassins élémentaires ce qui permet de réduire le nombre total de paramètres : une fonctionnalité bien utile lorsque le nombre de sous bassins à simuler est élevé.

2 Les étapes de la modélisation

La mis en œuvre du code de calcul ÉROS comporte les étapes suivantes :

- Analyse du système hydrologique et hydrogéologique étudié, des données hydro climatologiques et des débits d'échange naturels et/ou anthropiques.
- Conception du modèle ÉROS : découpage en sous bassins composant une grappe et reliés entre eux par une relation d'une arborescence.
- Élaboration des fichiers de données : pluie, évapotranspiration, débits à l'exutoire et débits d'échange au pas de temps choisi pour la modélisation.
- Calage du modèle. Il consiste à ajuster tous les paramètres inconnus pour reproduire au mieux tous les débits observés en tous les points d'observation, en utilisant une procédure d'optimisation non linéaire.
- Exploitation du modèle pour une simulation de données, pour une simulation de scénarios et/ou pour l'émission de prévisions.

3 L'organisation des fichiers

La 2 montre l'organisation des fichiers nécessaires à une modélisation EROS tant pour le calage que pour la prévision des débits :

- fichiers d'entrée : fichier projet, fichiers de données d'entrée et fichier paramètres de calage ;
- fichiers et graphiques de sortie : paramètres ajustés et données calculées.

Les données d'entrée doivent être sans lacunes d'observation.
Les données de sortie peuvent comporter des lacunes d'observation.

Un « fichier projet » rassemble la liste des noms de tous les fichiers d'entrée et de sortie.

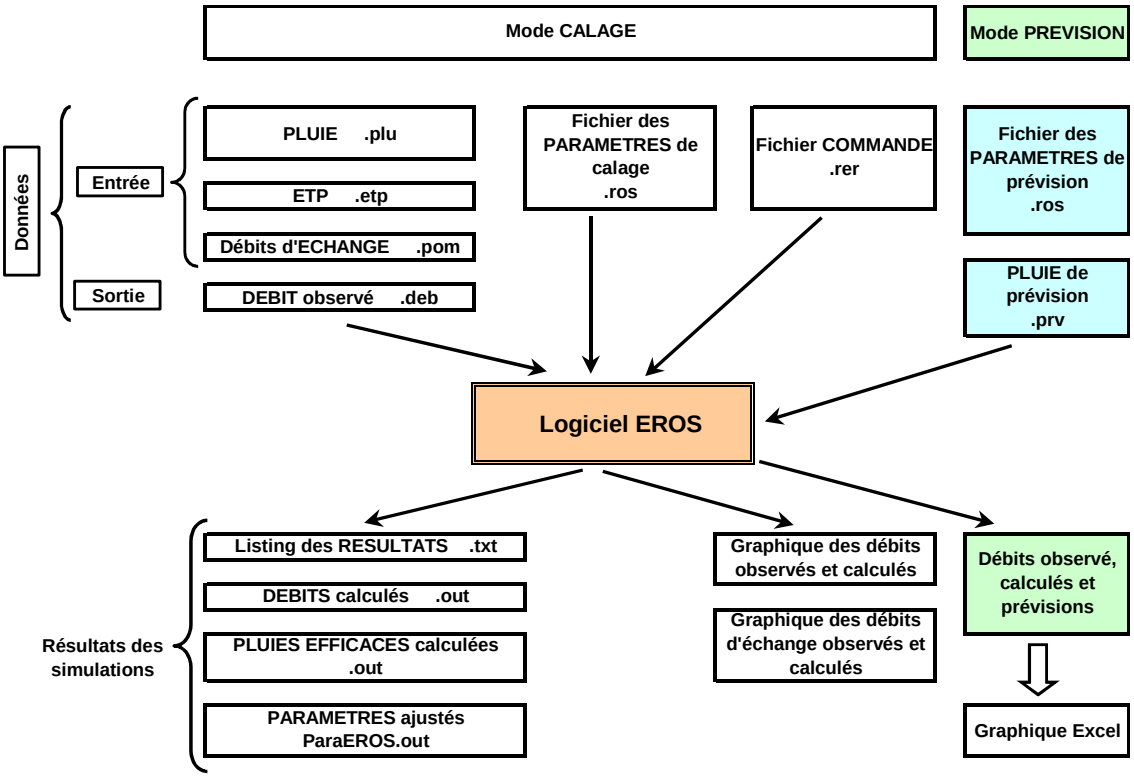


Figure 2 - Organisation des fichiers pour le calage et la prévision avec le modèle hydrologique global spatialisé ÉROS

Le fichier des paramètres est organisé en paragraphes indépendants :

- Paramètres généraux de la simulation
- Paramètres généraux suite : (Édition, dessin)
- Bornes des Paramètres
- Paramètres de l'exutoire

Puis pour chaque sous bassin :

- Paramètres hydrologiques (1/2) du Bassin n° n
- Paramètres hydrologiques (2/2) du Bassin n° n

Sur le fichier des paramètres le code habituel suivant a été adopté pour les paramètres de choix oui/non : 0 = non ; 1 = oui.

3.1 Paramètres Généraux de la simulation

```
  25=Nombre d'Années civiles
1979=Numéro de la première Année
   6=Nombre d'Années de Démarrage
   0=Dernier pas de temps observé de la dernière année (pour dessin)
   0=Même ETP pour tous les bassins (1=Oui 0=Non)
   0=//////// Paramètre inutilisé //////////
   0=//////// Paramètre inutilisé //////////
   0=//////// Paramètre inutilisé //////////
   1=Observation des Débits (1=Oui 0=Non => seulement Simulation)
   1=Pas de Temps des données (0=Jours  1=pentades  2=Décades  3=Mois)
   0=Format des données (0=Séqu ; 1=Annu ; 2=Libr ; 3=Excel)
   1=Schéma de calcul (0=GARDÉNIA ; 1=GR4)
   0=Nombre d'Années de données pour Prévision
   0=Prévision avec scénarios de pluie : (0=Non ; 1=Oui)
   0=Jour émission prévis (1-31) Si Observations journalières
   0=Mois (ou Numéro du pas de temps) d'émission de la Prévision
   0=Portée de la Prévision (Nombre de pas de temps)
   0=Coefficient de Réajustement (0 à 1) (valeur conseillée = 1)
```

3.1.1 Nombre d'Années civiles

C'est le nombre d'années civiles de tous les fichiers d'entrée : 25 années dans l'exemple présenté.

3.1.2 Numéro de la première Année

C'est le numéro de la première année des fichiers de données : c'est l'année 1979 dans l'exemple présenté. Les données se rapportent donc à la période 1979-2005.

3.1.3 Nombre d'Années de Démarrage

C'est le nombre d'années de données hydroclimatiques utilisées pour l'initialisation des calculs, c'est à dire pour prendre en compte l'effet de mémoire des bassins en début de calcul. Dans l'exemple présenté la période de démarrage comprend 6 années, soit la période 1979-1984. Pendant cette période on considère que les débits calculés sont en cours d'initialisation. Ils sont donc incorrects et ne seront donc pas comparés aux débits observés. En particulier ils ne seront pas pris en compte lors du calage automatique des paramètres hydrologiques du modèle. À titre d'information les débits calculés pendant cette période de démarrage seront édités dans les fichiers de résultats de simulation, mais ils n'apparaîtront pas dans les représentations graphiques automatiques.

3.1.4 Dernier pas de temps observé de la dernière année (pour dessin)

C'est le dernier pas de temps qui sera dessiné pour la dernière année pour les représentations graphiques. Par défaut, si on laisse cette valeur égale à 0 : c'est le dernier pas de temps de la dernière année.

3.1.5 Même ETP pour tous les Bassins (1=Oui 0=Non)

Ce paramètre permet, si on lui donne la valeur 1, de simplifier le fichier des ETP (Évapo-Transpiration Potentielle) : Le fichier contiendra uniquement l'ETP du premier sous bassin. Tous les sous bassins auront la même ETP.

3.1.6 Observation des Débits (1=Oui 0=Non => seulement Simulation)

Choix :

0 = Pas de débits observés (donc pas de calage automatique possible). Seule une simulation sera réalisée
1 = On dispose d'une série de débits observés, et donc d'un fichier d'observations.

3.1.7 Pas de Temps des données (0=Jours 1=pentades 2=Décades 3=Mois)

Les données hydroclimatiques doivent être régulièrement espacées selon un pas de temps constant. Quatre pas de temps sont possibles :

0 = Pas de temps journalier
1 = Pas de temps pentadaire (5 jours).
2 = Pas de temps décadaire (10 jours)
3 = Pas de temps mensuel

Dans l'exemple présenté le pas de temps est pentadaire.
L'utilisateur se reportera à la notice d'utilisation du code GARDÉNIA (Thiéry 2003) pour la description des pas de temps en particulier pentadaire et décadaires et pour la forme des fichiers pour chacun des pas de temps.

Contrairement au code GARDÉNIA, le pas de temps doit être identique pour toutes les séries de données hydroclimatiques (pluies, ETP, Prélèvements, débits).

3.1.8 Format des données (0=Séquentiel ; 1=Annuaire ; 2=Libre ; 3=Excel)

Ce paramètre précise sous quelle forme apparaissent les données dans les fichiers hydroclimatiques et les fichiers de débits. (Voir la notice d'utilisation du code GARDÉNIA).

0 = Format séquentiel : ce format n'existe pas pour le pas de temps journalier. Il est alors remplacé par le format « annuaire ». Pour les données mensuelles, le format séquentiel est identique au format annuaire.
1 = Format annuaire.
2 = Format libre.
3 = Format Excel.

Les formats « séquentiel » ou « annuaire » ont l'avantage d'être sous forme de tableaux compacts et faciles à interpréter, mais ils sont « formatés », c'est à dire qu'il faut respecter la position des valeurs (8 caractères par valeur). La mise en forme des données se fait avec le logiciel SHALIMAR v.3.6b (Thiéry 2004).
Le format « Excel », sous forme de 2 colonnes (Date en clair, Valeur) peut être facilement exporté à partir d'un fichier EXCEL, mais il est beaucoup moins compact : Il contient en effet 365 ou 366 lignes par an.

Avec le logiciel SHALIMAR, il est possible de mettre en forme directement les données hydroclimatiques ou de débits selon un des 4 formats proposés à partir des formats des bases de données courantes : Format « Climathèque » ou Format « SANDRE » de Météo France, Format « Banque HYDRO » pour les débits.
Dans l'exemple présenté c'est le format « séquentiel » qui est utilisé.

3.1.9 Schéma de calcul (0=GARDÉNIA ; 1=GR4)

Choix :

0 = Schéma GARDÉNIA.
1 = Schéma GR4.

Selon le cas ou l'objectif recherché, un schéma ou l'autre peut permettre une meilleure simulation. Il convient cependant de noter que le schéma GR4 ne permet généralement pas d'interpréter une décomposition des débits en une composante superficielle (rapide) et une composante souterraine (lente).

Les différences entre ces 2 schémas apparaissent surtout pour les simulations à pas de temps fins (journalier ou pentadaire) mais sont généralement moins marquées au pas de temps mensuel.

Paramètres pour une prévision :

Les 6 paramètres suivants sont utilisés uniquement pour l'émission d'une prévision. Les principes généraux de l'émission d'une prévision sont proches de ceux utilisés dans le code GARDÉNIA décrit par (Thiéry 2004a, 2004b).

```
 40=Nombre d'Années de données pour Prévision
  1=Prévision avec scénarios de pluie : (0=Non ; 1=Oui)
  0=Jour émission de la prévision (1-31) Si Observations journalières
 12=Mois (ou Numéro du pas de temps) d'émission de la Prévision
 54=Portée de la Prévision (Nombre de pas temps)
0.5=Coefficient de Réajustement (0 à 1) (conseillé = 1)
```

3.1.10 Nombre d'Années de données pour Prévision

Ce nombre d'années de prévisions est le nombre d'années de données du fichier de « pluies pour les prévisions ». A partir de la date d'émission de la prévision, un scénario d'évolution sera calculé en utilisant successivement les données de pluies de chacune de ces années de pluies pour les prévisions. Si ce nombre d'années est égal à 0 : Il n'y aura pas de prévision.
Dans l'exemple présenté il y a 40 années de pluies pour la prévision.

3.1.11 Prévision avec scénarios de pluie : (0=Non ; 1=Oui)

Choix :

0 = Pas de prévision
1 = Prévision avec des scénarios de pluie.

3.1.12 Jour d'émission de la prévision (1-31) Si Observations journalières

Ce paramètre, qui est utilisé uniquement si le pas de temps est journalier, précise le jour (du mois d'émission) auquel la prévision est émise.

3.1.13 Mois (ou Numéro du pas de temps) d'émission de la Prévision

Ce paramètre définit le mois (ou le numéro du pas de temps) auquel est émise la prévision.

- Si le pas de temps est journalier : ce paramètre donne le mois d'émission (le jour d'émission est donné par le paramètre précédent) : par exemple 5 indique le mois de mai.
- Si le pas de temps est pentadaire, décadaire ou mensuel : ce paramètre donne le numéro dans l'année du pas de temps auquel est émise la prévision. (Si le pas de temps est mensuel, le numéro du pas de temps est en fait le numéro du mois)

Dans l'exemple présenté la prévision est émise la pentade n°12, soit à la fin du mois de février 2005 car il y a 6 pentades par mois.

3.1.14 Portée de la Prévision (Nombre de pas de temps)

C'est la durée (en nombre de pas de temps) de la prévision après la date d'émission de la prévision.
Dans l'exemple présenté la prévision est émise sur une durée de 54 pentades après l'émission de la prévision. La prévision est donc réalisée pendant 9 mois, soit jusqu'à fin novembre 2005.

3.1.15 Coefficient de Réajustement (0 à 1) (conseillé = 1)

Ce paramètre définit le taux de correction des écarts de simulation constatés à la date d'émission de la prévision. Dans le modèle ÉROS v.4.0, contrairement au modèle GARDÉNIA, cette correction est réalisée par un simple décalage des séries prévues après la date d'émission de la prévision. Il n'est pas toujours opportun de décaler totalement les séries calculées.
Dans l'exemple présenté le réajustement (c'est à dire la correction par translation) est réalisé avec un coefficient 0.5 (c'est à dire à 50 %)

3.2 Paramètres Généraux de la simulation suite : (Édition, dessin)

```
  0=Sauvegarde sur Fichier de la Pluie Efficace (1=Oui)
  1=Sauvegarde sur Fichier des Débits calculés  (1=Oui 2=Aussi Prélèvements)
  0=Édition sur listing du Bilan Mensuel (0=Non 1=Oui)
  1=Dessin des Simulations   (0=Non 1=Oui 2=Aussi des Prélèvements)
  0=Édition sur listing des données hydro-climatiques (1=Oui)
  0=Listing (0 , 1=Oui ; -1=Allégé ; -2=Quasi-supprimé)
  0=Pondération des écarts (0 = 1 = équipondération ; 2 = étiages prédomin.)
  0=Poids pour Régression Bornée (Ridge) [Def = 0]
450=Nombre de simulations pour le calage des paramètres
```

3.2.1 Sauvegarde sur Fichier de la Pluie Efficace (1=Oui)

Choix :

0 = Pas de sauvegarde.
1 = Sauvegarde sur Fichier de la Pluie Efficace calculée.

3.2.2 Sauvegarde sur Fichier des Débits calculés (1=Oui 2=Aussi Prélèvem.)

Choix :

0 = Pas de sauvegarde.
1 = Sauvegarde sur Fichier des Débits calculés.
2 = Sauvegarde aussi des prélèvements calculés.

3.2.3 Édition sur listing du Bilan Mensuel (0=Non 1=Oui)

Choix :

0 = Pas d'édition des débits mensuels.
1 = Sauvegarde sur listing des bilans mensuels calculés.

3.2.4 Dessin des Simulations (0=Non 1=Oui 2=Aussi des Prélèvements)

Choix :

0 = Pas de dessin.
1 = Dessin à l'écran des débits simulés et observés, avec possibilité d'exportation des dessins.
2 = Dessin également des prélèvements.

3.2.5 Édition sur listing des données hydro-climatiques (1=Oui)

Choix :

0 = Pas d'édition des données hydroclimatiques lues

1 = Édition sur listing de contrôle des données hydroclimatiques lues.

3.2.6 Listing (0 , 1=Oui ; -1=Allégé ; -2=Quasi-supprimé)

Choix :

0, 1 = Génération d'un listing de contrôle

-1 = Listing de contrôle allégé.

-2 = Listing de contrôle quasiment supprimé.

3.2.7 Pondération des écarts (0 = 1 = équipondérat. ; 2 = étiages prédomin.)

Choix :

0, 1 = équi-pondération des écarts de simulation : Tous les écarts de simulation ont la même importance dans le processus de calage automatique

2 = Pondération des écarts de simulation donnant davantage d'importance aux étiages. Le calage est alors davantage focalisé sur les étiages.

3.2.8 Poids pour Régression Bornée (Ridge) [Def = 0]

C'est un poids de régularisation qui permet de faire une « régression bornée » (ou « Ridge Regression » en anglais. En présence de sous bassins ayant un comportement très semblable, ce poids de régularisation permet d'accepter une simulation légèrement moins bonne mais plus robuste et plus physique. Par défaut ce paramètre est égal à 0. En pratique quand on utilise un poids de régularisation, on donne une faible valeur à ce paramètre : de l'ordre de 0.001 à 0.03.

3.2.9 Nombre de simulations pour le calage des paramètres

C'est le nombre d'essais - erreurs, donc le nombre de simulations, maximum pour le calage automatique des paramètres.

En pratique ce nombre de simulations dépend du nombre de paramètres à optimiser : environ 200 à 300 simulations avec le schéma GARDÉNIA, 400 à 600 simulations avec le schéma GR4.

3.3 Bornes des Paramètres

Ce sont les valeurs minimales et maximales autorisées pour les paramètres hydrologiques. En particulier, à l'issue du calage automatique les paramètres optimisés seront compris entre ces bornes.

Si un paramètre hydrologique qui n'est pas à optimiser a une valeur extérieure à ces bornes, sa valeur est fixée à la borne la plus proche.

Les bornes d'un paramètre donné, une capacité de sol par exemple, sont identiques pour tous les sous bassins.

3.3.1 Bornes avec le schéma GARDÉNIA

Exemple des bornes avec le schéma GARDÉNIA

```
0.15=Mini : Temps de demi-Montée ('mois')
   6=Maxi : Temps de demi-Montée ('mois')
0.15=Mini : Temps de demi-Tarissement ('mois')
  20=Maxi : Temps de demi-Tarissement ('mois')
```

```
  0=Mini : Capacité d'Absorption en mm
500=Maxi : Capacité d'Absorption en mm
  0=Mini : Capacité de la Réserve Superficielle (Réserve Utile) mm
300=Maxi : Capacité de la Réserve Superficielle (Réserve Utile) mm
  0=Mini : Coefficient Correcteur global de Pluie %
  0=Maxi : Coefficient Correcteur global de Pluie %
-15=Mini : Coefficient Correcteur global d'ETP %
 15=Maxi : Coefficient Correcteur global d'ETP %
  0=Mini : Hauteur d'eau Ruissellement-Percolation mm
2000=Maxi : Hauteur d'eau Ruissellement-Percolation mm
```

3.3.2 Bornes avec le schéma GR4

Exemple des bornes avec le schéma GR4

```
 0.1=Mini : Temps Décroissance Hydrogrammes  [C]('jour')
  14=Maxi : Temps Décroissance Hydrogrammes  [C]('jour')
  -1=Mini : Échange Externe ->Réservoir Gravit [D](mm)
   1=Maxi : Échange Externe ->Réservoir Gravit [D](mm)
 1-3=Mini : Coefficient de Ruissellement (déf=10%)  [ ] (%)
  90=Maxi : Coefficient de Ruissellement (déf=10%)  [ ] (%)
 0.1=Mini : Capacité de la Réserve Superficielle  [A](mm)
1000=Maxi : Capacité de la Réserve Superficielle  [A](mm)
 -15=Mini : Coefficient Correcteur global de Pluie %
  15=Maxi : Coefficient Correcteur global de Pluie %
 -15=Mini : Coefficient Correcteur global d'ETP %
  15=Maxi : Coefficient Correcteur global d'ETP %
 0.1=Mini : Capacité Réservoir Eau Gravit   [B](mm)
1000=Maxi : Capacité Réservoir Eau Gravit   [B](mm)
```

3.4 Paramètres de l'exutoire

```
  7=Numéro du Bassin Amont n° 1    (0: Pas de Bassin en Amont)
  0=Numéro du Bassin Amont n° 2    (0: Pas de Bassin en Amont)
  0=Point d'Observations du Débit                (1=Oui 0=Non)
```

L'exutoire unique du système de sous bassins peut être défini de plusieurs façons :

- Soit on ne précise pas d'exutoire : c'est alors le bassin le plus aval, à condition qu'il soit unique, qui est l'exutoire par défaut.
- Soit on précise un point comme étant l'exutoire : ce point peut avoir au choix 1 ou 2 sous bassin en amont.

S'il y a un seul sous bassin en amont, le débit à l'exutoire sera identique au débit à l'aval de ce sous bassin.
S'il y a 2 sous bassin à l'amont, le débit à l'exutoire sera la somme des débits à l'aval des 2 sous bassins.

Si on précise que l'exutoire est un point d'observations de débits, les éventuels débits observés de l'exutoire seront placés en premier dans le fichier des débits observés.
En résumé, dans un schéma très simple avec 2 bassins n°1 et n°2 on peut avoir les configurations suivantes :

- Les bassins n°1 et n°2 sont en série. L'exutoire est l'aval du bassin n°2. Il n'y a pas besoin de définir d'exutoire.

- Les débits des bassins n°1 et n°2 se rejoignent pour former le débit à l'exutoire. On définit alors l'exutoire de la manière suivante :

```
1=Numéro du Bassin Amont n° 1    (0: Pas de Bassin en Amont)
2=Numéro du Bassin Amont n° 2    (0: Pas de Bassin en Amont)
1=Point d'Observations du Débit                (1=Oui 0=Non)
```

Et dans le fichier des débits observés on place les débits observés à l'exutoire en premier avant les éventuels débits observés des bassins n°1 et n°2

On aurait pu également ne pas définir d'exutoire mais définir un basin n°3, comme un simple point de jonction ayant les bassins n°1 et n°2 en amont et placer donc normalement les débits observés à l'exutoire comme les débits observés du bassin n°3. Cette configuration est a priori plus simple bien qu'elle fasse intervenir un bassin de plus.

3.5 Paramètres hydrologiques des sous bassins

Ces paramètres sont regroupés en 2 paragraphes.

Pour chaque sous bassin on définit :
- Des paramètres de réseau :
- 7 paramètres hydrologiques par bassin :

Les paramètres de réseau définissent :
- Quels sont les numéros des éventuels sous bassins amonts ?
- Est ce un point d'observation des débits ?
- Y a t'il des prélèvements ou des injections ?
- Souhaite t'on éditer les résultats relatifs à ce sous bassin ?

Numérotation des sous bassins :

Les sous bassins sont définis dans un ordre quelconque. Le premier sous bassin défini a implicitement le n°1, le deuxième sous bassin défini a implicitement le n°2 etc., indépendamment des relations amont aval.

Arborescence amont-aval

Chaque sous bassin peut avoir 0, 1 ou 2 sous bassins amont. Pour chaque sous bassin on définit les numéros des éventuels 1 ou 2 sous bassins amonts.
Par exemple : Si le sous bassin n°4, de superficie S, a les sous bassins 7 et 10 en son amont : Le débit à l'exutoire du sous bassin n°4 sera la somme des débits à l'aval des sous bassins 7 et 10 augmentée du débit résultant des précipitations sur la surface S du sous bassin n°4.

On peut définir des sous bassins comme étant uniquement des « points de jonction ». De tels sous bassins n'ont pas de superficie et ne reçoivent pas de précipitations. Leurs paramètres hydrologiques (qui apparaissent sur le fichier par conformité) sont fictifs et n'ont pas d'influence.

Prélèvements

Dans chaque sous bassin on peut affecter une série de prélèvements (débits négatifs) ou d'injections (débits positifs). Ces prélèvements ou injections éventuels peuvent être introduit au choix en rivière à l'aval du sous bassin ou bien dans la nappe.
Quand les prélèvements (débits négatifs) sont introduits en rivière, le code de calcul ne permettra pas d'obtenir un débit négatif à l'aval du sous bassin. Il sera donc

conduit à diminuer les prélèvements demandés s'ils ne peuvent pas être assurés par le cours d'eau.
Quand les prélèvements sont introduits dans la nappe, les débits seront prélevés dans le réservoir souterrain du sous bassin, dans la limite du volume d'eau dans ce réservoir. Un prélèvement en nappe sous entend donc un prélèvement répartit uniformément sur toute la superficie du bassin, ce qui reste relativement théorique.

Les paramètres hydrologiques de chaque bassin peuvent avoir les propriétés suivantes :

- Chaque paramètre hydrologiques peut être optimisé ou pas.
- Chaque paramètre peut être contraint à avoir la même valeur que celle d'un autre bassin. Par exemple dans l'exemple ci-dessous : la valeur initiale de la réserve utile est égale à 80 mm ; cette valeur sera optimisée. La valeur optimisée sera identique à celle de la réserve utile du bassin n°3. Ceci est particulièrement utile, d'une part pour réduire le nombre de paramètres à optimiser et d'autre part pour favoriser la robustesse et la stabilité du calage.

```
 80=Capacité de la Réserve Superficielle (Réserve utile) mm
  1=Optimisation de ce paramètre
  3=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
```

Pour contraindre un paramètre du bassin n° N2 à avoir une valeur identique à celle du bassin n° N1, il faut respecter les règles suivantes :

- N2 doit être supérieur à N1, c'est à dire que la réserve utile du bassin n°5 peut être contrainte à être égale à celle du bassin n°3, mais il n'est pas permis de contraindre la réserve utile du bassin n°3 à être égale à celle du bassin n°5.
- Il n'est pas nécessaire de mettre la valeur initiale du bassin N2 identique à celle du bassin N1 car ce sera fait automatiquement.
- Si le paramètre du bassin N1 est à optimiser, il n'est pas nécessaire de demander d'optimiser celui du bassin N2 car ce sera fait automatiquement.
- Si le paramètre du bassin N1 n'est pas à optimiser et que le paramètre du bassin N2 est contraint à lui être égal, N2 ne sera pas optimisé, même si on demande l'optimisation du paramètre N2

Exemples :

- Ex1 :

Bassin n°3

```
 80=Capacité de la Réserve Superficielle (Réserve utile) mm
  0=Optimisation de ce paramètre
  0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
```

Bassin n°5

```
120=Capacité de la Réserve Superficielle (Réserve utile) mm
  0=Optimisation de ce paramètre
  3=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
```

⇨ La réserve utile du bassin n°5 sera égale à 80 mm.

- Ex2 :

Bassin n°3

```
 80=Capacité de la Réserve Superficielle (Réserve utile) mm
  1=Optimisation de ce paramètre
  0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
```

Bassin n°5

```
120=Capacité de la Réserve Superficielle (Réserve utile) mm
  0=Optimisation de ce paramètre
  3=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
```

⇨ La valeur commune des bassins 3 et 5 sera optimisée avec 80 mm pour valeur initiale.

- Ex3 :

Bassin n°3

```
        80=Capacité de la Réserve Superficielle (Réserve utile) mm
         0=Optimisation de ce paramètre
         0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
```

Bassin n°5

```
       120=Capacité de la Réserve Superficielle (Réserve utile) mm
         1=Optimisation de ce paramètre
         3=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
```

⇨ La valeur commune des bassins 3 et 5 sera égale à 80 mm. Elle ne sera pas optimisée.

- Ex4 :

Bassin n°3

```
        80=Capacité de la Réserve Superficielle (Réserve utile) mm
         0=Optimisation de ce paramètre
         5=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
```

Bassin n°5

```
       120=Capacité de la Réserve Superficielle (Réserve utile) mm
         0=Optimisation de ce paramètre
         0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
```

⇨ Incorrect.

Dans le code de calcul ÉROS 4.0 les limites maximales suivantes doivent être respectées :

- 61 sous bassins.
- 51 sous bassins avec des observations de débits.
- 30 paramètres optimisables simultanément.

3.5.1 Description des paramètres de réseau

```
***  Paramètres (1/2) du Bassin   3 Complément_Frignicourt  ***
     494.0=Superficie élémentaire du Sous bassin (km2)
         0=Optimisation de la Superficie
         0=Point de Jonction Uniquement [0= Non ; 1=Pas de données climato]
         1=Numéro du Bassin Amont n° 1    (0: Pas de Bassin en Amont)
         2=Numéro du Bassin Amont n° 2    (0: Pas de Bassin en Amont)
         1=Point d'Observations du Débit (et d'Édition)        (1=Oui 0=Non)
         1=Point d'Édition      du Débit + de Pluies Efficaces (1=Oui 0=Non)
         1=Pompage dans le bassin   (1=en Rivière ,2=en Nappe ,0 Non)
         0=Pluie Efficace Annuelle Moyenne pour Démarrage (mm/an)
```

3.5.1.1 Superficie élémentaire du Sous bassin (km2)

C'est la superficie, en km^2, du sous bassin. En fait c'est la superficie à ajouter aux superficies des éventuels sous basins amont pour obtenir la superficie du sous bassin. Dans l'exemple présenté du bassin de Frignicourt, la superficie totale est égale à 3338 km^2 et les superficies des 2 sous bassins amont sont égales à 2364 et 480 km^2. On introduit donc la valeur 494 km^2 qui est le complément à 2364 et 480 pour obtenir 3338 km^2.

3.5.1.2 Optimisation de la Superficie

Choix :

0 = Pas d'optimisation de la superficie
1 = Optimisation de la superficie.

Il est possible d'optimiser la superficie du sous bassin quand elle est mal connue, ce qui peut parfois être le cas dans le cas de débits de sources. On peut également être amené à optimiser la superficie quand on cherche à déterminer quelle est la superficie concernée par un poste pluviométrique donné.

3.5.1.3 Point de Jonction Uniquement [0= Non ; 1=Pas de données climato]

Choix :

0 = Cas général d'un sous bassin réel

1 = Uniquement un point de jonction : pas de bilan hydroclimatique, pas de données hydroclimatiques dans les fichiers pour ce bassin.

3.5.1.4 Numéro du Bassin Amont n° 1 (0: Pas de Bassin en Amont)

C'est le numéro d'ordre de l'éventuel premier sous bassin amont. (n°0 s'il n'y a pas de sous bassin amont)

3.5.1.5 Numéro du Bassin Amont n° 2 (0: Pas de Bassin en Amont)

C'est le numéro d'ordre de l'éventuel deuxième sous bassin amont. (n°0 s'il n'y a pas de deuxième sous bassin amont)

3.5.1.6 Point d'Observations du Débit (et d'Édition) (1=Oui 0=Non)

Choix :

0 = Pas de données d'observations de débits à l'aval de ce sous bassin. Il n'y aura donc pas de données de débits pour ce bassin dans le fichier des débits observés

1 = Il y a des données d'observations de débits pour ce sous bassin. Les donnés de débits simulés seront édités sur fichier.

3.5.1.7 Point d'Édition du Débit + de Pluies Efficaces (1=Oui 0=Non)

Choix :

0 = Pas d'édition sur fichier des débits simulés ni des pluies efficaces calculées (s'il y a des débits observés, les débits simulés seront cependant édités).

1 = Édition sur fichier des débits simulés et des pluies efficaces calculées.

3.5.1.8 Pompage dans le bassin (1=en Rivière, 2=en Nappe, 0 Non)

Choix :

0 = Pas de prélèvements/injection de débits dans ce sous bassin.

1 = Prélèvements ou injection de débits à l'exutoire de ce sous bassin.

2 = Prélèvements ou injection de débits dans la nappe de ce sous bassin.

3.5.1.9 Pluie Efficace Annuelle Moyenne pour Démarrage (mm/an)

C'est la valeur de la pluie efficace annuelle moyenne en mm/an. Cette valeur est utilisée pour initialiser les réservoirs du modèle pour ce sous bassin en début de calcul.
Si on laisse la valeur égale à 0, les réservoirs sont initialisés à 0.
Cette valeur n'est pas prise en compte avec le schéma hydrologique GR4.

3.5.2 Description des paramètres hydrologiques du schéma GARDÉNIA

```
0.5=Temps de demi-Montée ('mois')
  1=Optimisation de ce paramètre
  0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
6.0=Temps de demi-Tarissement ('mois')
  1=Optimisation de ce paramètre
  0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
500=Capacité d'absorption en mm
```

```
  0=Optimisation de ce paramètre
  0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
 90=Capacité de la Réserve Superficielle (Réserve utile) mm
  1=Optimisation de ce paramètre
  0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
  0=Coefficient Correcteur global de Pluie %
  0=Optimisation de ce paramètre
  0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
  0=Coefficient Correcteur global d'ETP %
  0=Optimisation de ce paramètre
  0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
300=Hauteur d'eau Ruissellement-Percolation mm
  1=Optimisation de ce paramètre
  0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
```

Pour une définition précise des paramètres hydrologiques du schéma GARDÉNIA, le lecteur peut se reporter au manuel d'utilisation du logiciel GARDÉNIA v.6.0

3.5.2.1 Temps de demi-Montée ('mois')

Temps de demi-montée du réservoir souterrain exprimé en mois. C'est le temps de demi-percolation du réservoir intermédiaire vers le réservoir souterrain. Sa valeur est souvent de l'ordre de 0.5 à 3 mois.

3.5.2.2 Temps de demi-Tarissement ('mois')

Temps de demi-tarissement du réservoir souterrain exprimé en mois. Sa valeur est souvent de l'ordre de 3 à 7 mois, ou davantage pour des sources.

3.5.2.3 Capacité d'absorption en mm

Pluie maximale qui peut être absorbée par le sol en un pas de temps. L'excèdent ruisselle instantanément. En général il n'y a pas de ruissellement instantané, il faut donc donner une grande valeur à ce paramètre, de l'ordre de 500 mm et ne pas l'optimiser. Il faut également donner à la borne maximale de ce paramètre une valeur de l'ordre de 500 mm.

3.5.2.4 Capacité de la Réserve Superficielle (Réserve utile) mm

Capacité du réservoir superficiel, ou « réserve disponible pour l'évapotranspiration » exprimée en mm. Les valeurs courantes sont souvent de l'ordre de 70 à 130 mm.

3.5.2.5 Coefficient Correcteur global de Pluie %

Coefficient de correction global de la lame d'eau chargé de compenser une éventuelle mauvaise représentativité des données pluviométriques issues des observations faites sur des postes dispersés ou à des altitudes non adaptées. Ce coefficient doit être utilisé avec soin. Sa valeur absolue ne devrait généralement pas dépasser 15 à 20 %. En particulier il faut a priori éviter d'utiliser ce coefficient correcteur si la superficie du sous bassin est à optimiser.

3.5.2.6 Coefficient Correcteur global d'ETP %

Coefficient de correction d'ETP (ÉvapoTranspiration Potentielle) dont le but est similaire. Sa valeur absolue ne devrait généralement pas dépasser 15 à 20 %.

3.5.2.7 Hauteur d'eau Ruissellement - Percolation mm

Hauteur dans le réservoir intermédiaire, en mm, pour laquelle il y a répartition égale entre écoulement rapide et percolation vers le réservoir souterrain. Sa valeur est difficile à estimer a priori.

3.5.3 Description des paramètres hydrologiques du schéma GR4

```
  14=Temps de Décroissance des Hydrogrammes  [param. C]('jour')
   1=Optimisation de ce paramètre
   0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
   0=Échange Externe ->Réservoir Gravit [param. D](mm)
   0=Optimisation de ce paramètre
   0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
52.7=Coefficient de Ruissellement (def=10%)  [ ] (%)
   1=Optimisation de ce paramètre
   0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
12.2=Capacité de la Réserve Superficielle  [param. A](mm)
   1=Optimisation de ce paramètre
   0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
   0=Coefficient Correcteur global de Pluie %
   1=Optimisation de ce paramètre
   0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
   0=Coefficient Correcteur global d'ETP %
   1=Optimisation de ce paramètre
   0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
 599=Capacité du Réservoir d'Eau Gravitaire [param. B](mm)
   1=Optimisation de ce paramètre
   0=Numéro du bassin auquel il est identique (Défaut=0)
```

Pour une définition précise des paramètres hydrologiques du schéma GR4, le lecteur peut se reporter à la description de Edijatno et Michel, C. (1989). L'annexe 2 décrit en détail le fonctionnement du schéma GR4 intégré dans le code ÉROS.

3.5.3.1 Temps de Décroissance des Hydrogrammes [param. C]

C'est le temps caractéristique de décroissance des hydrogrammes. C'est le paramètre « C » du schéma GR3/GR4. Il est exprimé en jours. Pour les bassins rapides, la valeur de ce paramètre est souvent de l'ordre de 3 à 7 jours.

3.5.3.2 Échange Externe ->Réservoir Gravit [param. D]

Ce paramètre peut permettre de prendre en compte des importations ou pertes par percolation profonde. C'est le paramètre « D » du schéma GR4. En pratique, dans le code ÉROS 4.0 l'utilisation de ce paramètre s'est révélée peu efficace. Il est donc généralement conseillé d'utiliser une valeur égale à 0 et de ne pas optimiser ce paramètre.

3.5.3.3 Coefficient de Ruissellement (def=10%)

C'est le pourcentage de la pluie efficace qui produira du ruissellement. Le reste sera dirigé vers le réservoir souterrain. La valeur de ce paramètre est exprimée en %. Par défaut (si on laisse la valeur égale à 0), la valeur sera prise égale à 10%. Si on voulait imposer 0%, il suffirait par exemple d'introduire une très faible valeur égale à 10^{-3} % par exemple.

3.5.3.4 Capacité de la Réserve Superficielle [param. A] (mm)

C'est la capacité sur réservoir « sol » dans lequel se produit l'évapotranspiration. C'est le paramètre « A » du schéma GR3/GR4. Le fonctionnement de ce réservoir est différent du réservoir « sol » du schéma GARDÉNIA. En particulier ce réservoir génère de la « pluie efficace » avant d'être saturé. Il génère d'autant plus d'écoulement qu'il est saturé et se remplit d'autant plus qu'il est désaturé. Il permet d'autant plus d'évapotranspiration qu'il est saturé. La valeur de ce paramètre est souvent de l'ordre de 250 à 400 mm.

3.5.3.5 Coefficient Correcteur global de Pluie %

Coefficient de correction global de la lame d'eau chargé de compenser une éventuelle mauvaise représentativité des données pluviométriques issues des observations faites sur

des postes dispersés ou à des altitudes non adaptées. Ce coefficient doit être utilisé avec soin. Sa valeur absolue ne devrait généralement pas dépasser 15 à 20 %. En particulier il faut a priori éviter d'utiliser ce coefficient correcteur si la superficie du sous bassin est à optimiser.

3.5.3.6 Coefficient Correcteur global d'ETP %

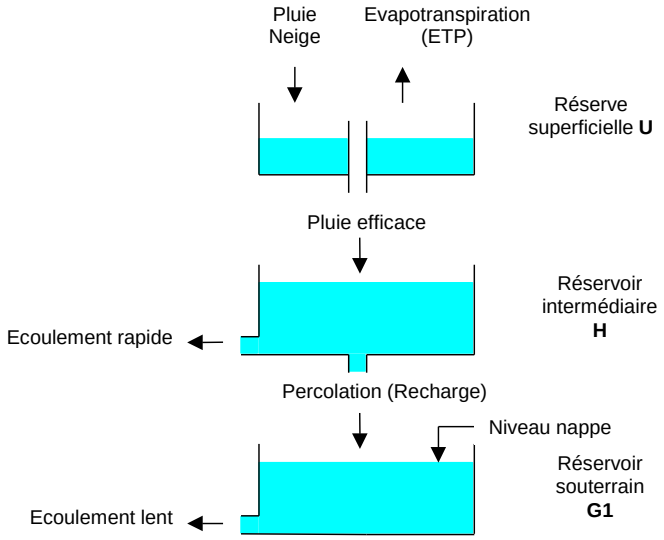
Coefficient de correction d'ETP (ÉvapoTranspiration Potentielle) dont le but est similaire. Sa valeur absolue ne devrait généralement pas dépasser 15 à 20 %.

3.5.3.7 Capacité du Réservoir d'Eau Gravitaire [param. B] (mm)

C'est la capacité sur réservoir gravitaire. C'est le paramètre « B » du schéma GR3/GR4. La valeur de ce paramètre est exprimée en mm. En pratique, avec un pas de temps journalier, la valeur de ce paramètre est souvent de l'ordre de 100 à 300 mm, mais elle peut parfois atteindre 2000 ou 3000 mm.

Annexe 1

Schéma hydrologique GARDÉNIA intégré dans le code de calcul ÉROS v.4.0



Fonctionnement du schéma hydrologique GARDÉNIA intégré dans le code de calcul ÉROS v.4.0

Annexe 2

Schéma hydrologique GR4
intégré dans le code de calcul ÉROS v.4.0

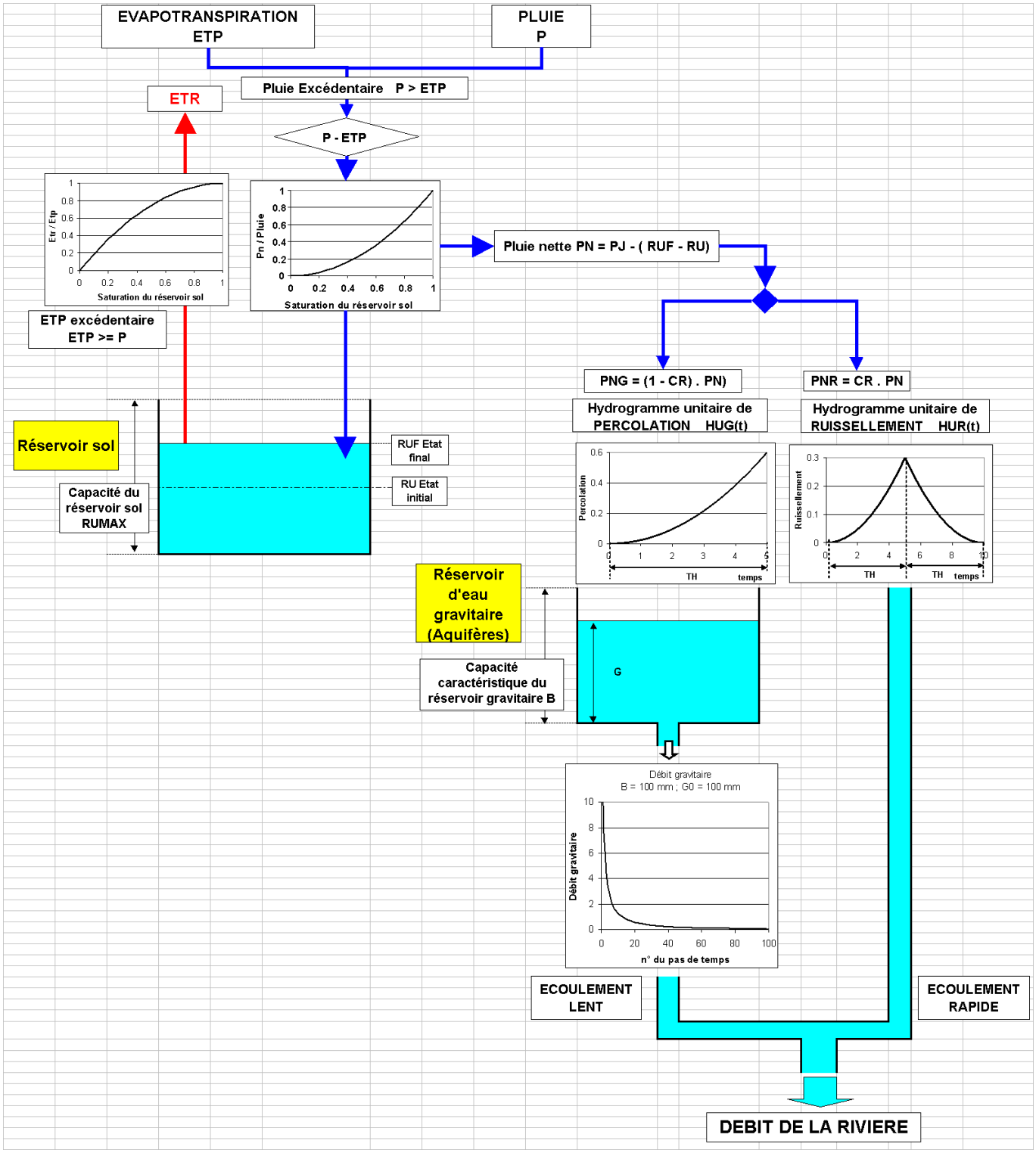


Fig. 1 : Fonctionnement du schéma hydrologique GR4
intégré dans le code de calcul ÉROS v.4.0

1 Notations

RUMAX = Capacité du réservoir sol [L]
RU = État de remplissage du réservoir sol (en début de pas de temps) [L]
RUF = État de remplissage du réservoir sol en fin de pas de temps [L]
P = Flux instantané d'excédent de pluie [$L.T^{-1}$]
PJ = Volume d'excédent de pluie en un pas de temps [L]
ETP = Flux instantané d'excédent d'ETP [$L.T^{-1}$]
ETPJ = Volume d'excédent d'ETP en un pas de temps [L]
ETR = Flux instantané d'excédent d'Évapotranspiration Réelle [$L.T^{-1}$]
Tanh = Tangente hyperbolique [-]
DT = Durée du pas de temps de calcul [T]
dt = intervalle de temps élémentaire [T]
CR = Coefficient de ruissellement [-]
TH = Durée caractéristique des hydrogrammes unitaires [T]
G = État de remplissage du réservoir gravitaire (en début de pas de temps) [L]
GF = État de remplissage du réservoir gravitaire en fin de pas de temps [L]
B = Capacité caractéristique du réservoir gravitaire [L]

2 Fonctionnement du réservoir sol

2.1 Pluie excédentaire

Si on a un flux de pluie excédentaire P, on admet :

- Un flux de ruissellement : $(RU / RUMAX)^2 . P$
- D'où une variation d'état de RU : $dRU / dt = [(1 - (RU / RUMAX)^2] . P$
- Soit après intégration sur la durée du pas de temps :

$$RUF = [RU + RUMAX * Tanh(PJ / RUMAX)] / [1 + (RU / RUMAX) * Tanh(PJ / RUMAX)]$$

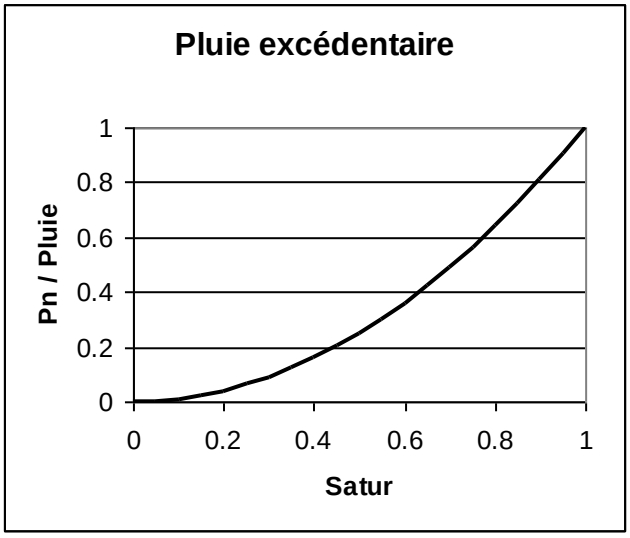


Fig. 2 : Flux de ruissellement en fonction de la saturation du réservoir sol

2.2 Évapotranspiration Potentielle excédentaire

Si on a un flux d'Évapotranspiration Potentielle excédentaire ETP, on admet :

- Un flux d'Évapotranspiration Réelle : $(RU / RUMAX) . (2 - RU / RUMAX) . ETP$
- D'où une variation d'état de RU : $dRU / dt = -(RU / RUMAX) . (2 - RU / RUMAX) . ETP$

- Soit après intégration sur la durée du pas de temps :

RUF = RU * [1 - Tanh (ETPJ / RUMAX)] / [1 + (1 – RU / RUMAX) * Tanh (ETPJ / RUMAX)]

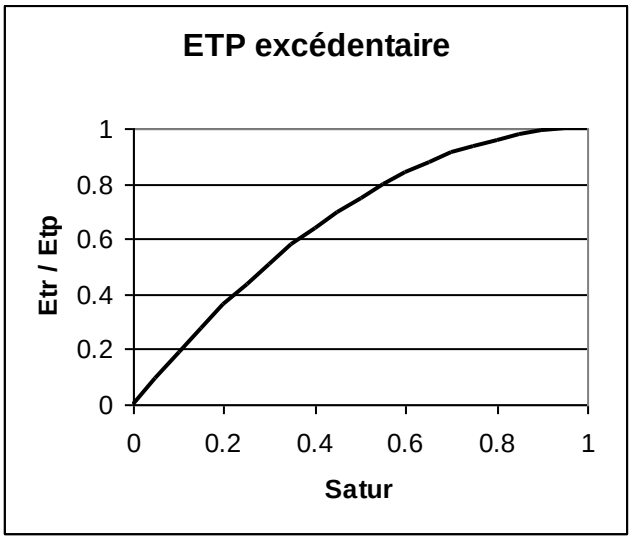


Fig. 3 : Flux d'évapotranspiration réelle en fonction de la saturation du réservoir sol

3 Transfert de l'excédent de pluie d'une part vers l'exutoire et vers le réservoir souterrain gravitaire

Dans le cas 2.1 d'un flux de pluie excédentaire, on obtient une pluie nette PN excédentaire :

- PN = PJ - (RUF - RU)

Cet excédent est distribué en 2 composantes :

- PNR va produire directement du ruissellement à l'exutoire après transfert par un hydrogramme unitaire HUR
- PNG va rejoindre le réservoir souterrain gravitaire l'exutoire après transfert par un hydrogramme unitaire HUG

La répartition de PN et PNR et PNG se fait par l'intermédiaire d'un coefficient de ruissellement CR compris entre 0 et 1 :

- PNR = CR . PN
- PNG = (1 – CR) . PN

Les deux hydrogrammes unitaires HUR et HUG font intervenir un même paramètre TH qui est une durée caractéristique.

3.1 Hydrogramme unitaire pour la percolation vers le réservoir gravitaire

Soit TH la durée caractéristique, l'hydrogramme unitaire de percolation a pour équation :

- $HUG(t) = 3\ t^2 / TH^3$ pour t <= TH
- HUG(t) = 0 pour t > TH

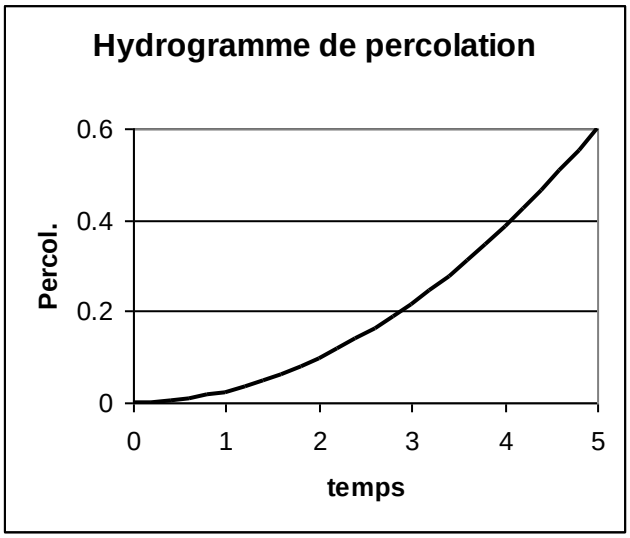


Fig. 4 : Hydrogramme unitaire de percolation

3.2 Hydrogramme unitaire du ruissellement

L'hydrogramme unitaire de ruissellement a pour équation :

- $HUR(t) = 1.5\ t^2 / TH^3$ pour $t <= TH$
- $HUR(t) = 1.5\ (2\ TH - t)^2 / TH^3$ soit le symétrique pour $TH < t <= 2\ TH$
- $HUG(t) = 0$ pour $t > 2\ TH$

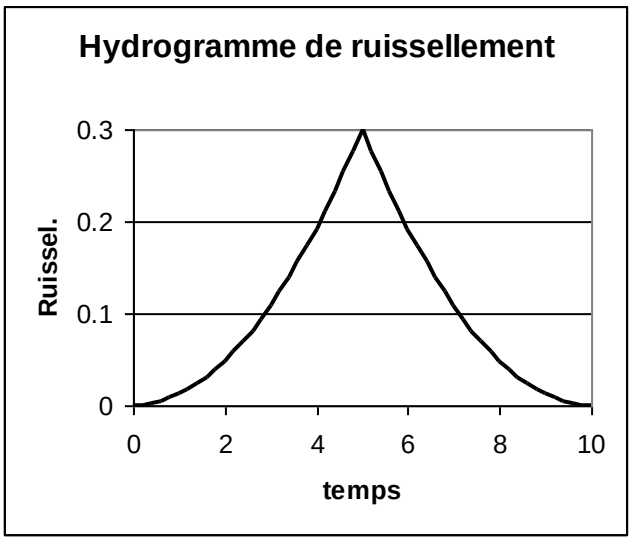


Fig. 5 : Hydrogramme unitaire de ruissellement

On remarque que l'hydrogramme de ruissellement HUG est symétrique. Il est composé de 2 parties de mêmes formes que HUG, mais divisées par 2 car sa durée est deux fois plus longue.

4 Fonctionnement du réservoir gravitaire G

On admet que la vidange du réservoir G est fonction de son niveau G à la puissance 5 :

- $-dG / dt = qG = a\ .\ G^5$ (a étant une constante de dimension $[L^{-4}T^{-1}]$

En intégrant cette loi de vidange sur la durée DT du pas de temps, on obtient en notant G le niveau en début de pas de temps, GF le niveau en fin de pas de temps :

et B la capacité caractéristique du réservoir :

- $GF^{-4} - G^{-4} = 4 . a . DT$

soit en notant :

- $B = (4 . a . DT)^{-1/4}$ de dimension [L]

on obtient :

- $GF = (G^{-4} + B^{-4})^{-1/4}$

Il convient de remarquer que le paramètre B n'est pas intrinsèque car il dépend de la durée DT du pas de temps. Il faudrait donc prendre en compte directement « a » au lieu de « B » si on utilisait ce schéma avec un pas de temps DT variable.
Par exemple pour un même paramètre « a », on obtient suivant le pas de temps :

Pas de temps (j)	1	5	10	30
Capacité B (mm)	200	134	112	85.5

On note par ailleurs les caractéristiques suivantes :

Niveau initial G / B	Niveau final GF / B	Différence (GF – G) / B
Infini	B	Infini
2	0.97	1.03
1	0.841	0.159
0.5	0.492	$7.5\ 10^{-3}$
0.25	0.24976	$2.4\ 10^{-4}$
0.1	0.1^{-}	$2.5\ 10^{-6}$

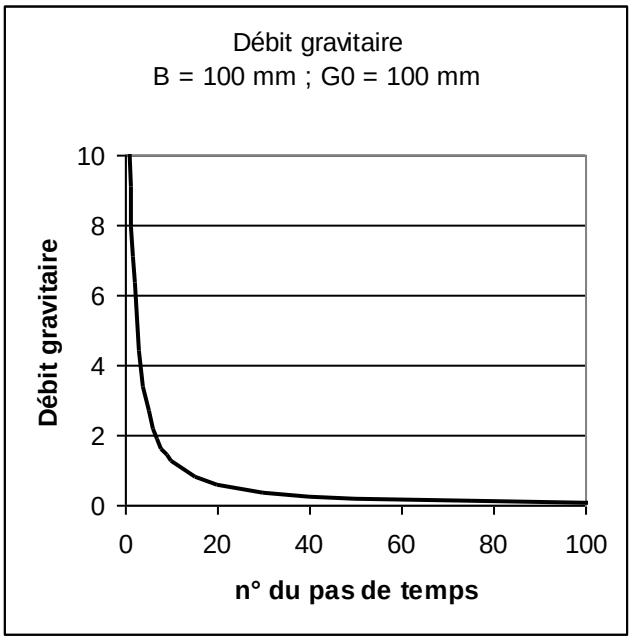


Fig. 6 : Débit sortant du réservoir gravitaire

Références bibliographiques

Edijatno et Michel, C. (1989). Un modèle pluie-débit à trois paramètres. La Houille Blanche, n°2, 113-121.

Thiéry D. (2013) - Didacticiel du code de calcul Gardénia v8.1. Vos premières modélisations. Rapport BRGM/RP-61720-FR, 127 p., 93 fig.
http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61720-FR.pdf. *Accès Juillet 2013*.

Thiéry D. (2013) - Logiciel GARDÉNIA, version 8.2. Guide d'utilisation. BRGM/RP-XXXXX-FR, 112 p., 41 fig., 2 ann. *À paraître Octobre 2013*.

Thiéry, D. (2009) – Modèles à réservoirs en hydrogéologie. *in Traité d'hydraulique environnementale - Volume 4 - Modèles mathématiques en hydraulique maritime et modèles de transport*. Tanguy J.M. (Ed.) - Éditions Hermès - Lavoisier. Chapitre 7 pp. 239-249. ISBN 978-2-7462-2006-5.

Thiéry D. (2004a) – Le modèle GARDÉNIA avec procédures adaptatives. Note technique NT EAU 2004/01

Thiéry D. (2004b) – Prévision de débits ou de niveaux avec le modèle hydrologique global GARDÉNIA 6.5. Note technique NT EAU 2004/02

Thiéry D. (2004c) – Description succincte du modèle GARDÉNIA. Note technique NT EAU 2004/03

Thiéry, D. (2003) - Logiciel GARDÉNIA version 6.0 - Guide d'utilisation. Rapport BRGM/RP-52832-FR, 102 p., 42 fig., 3 ann.
http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-52832-FR.pdf (*Accès Juillet 2013*.)

Thiéry D. (1988) – Forecast of changes in piezometric levels by a lumped hydrological model. Journal of Hydrology 97 (1988), pp. 129-148.